

І науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС”,
24-27 жовтня 2017 року, м. Люблін, Польща

экономического развития от 30.12.2017 г № 1494 с приданием действительности от 2016-01-01. Масса слов, два года придаем действительность. Кто занимался введением документа, кто отвечает за качество перевода и содержание - не понятно.

И невероятное количество ошибок:

- по тексту много стилистических, смысловых и грамматических ошибок;
- изменены наименование видов НК: вместо «магнитного» контроля записан «электромагнитный» контроль; вместо «контроля проникающими веществами записана «проверка герметичности методом проникающего красителя»; отсутствуют ограничения по визуальному контролю, имеющиеся в оригинале.

- в таблице 1 сокращение АТ именуется «акустическим контролем»; там же «РТ» расшифровывается как «цветная дефектоскопия»;

- наименование секторов в приложении А не соответствуют наименованию секторов в приложении D;

- в приложении В сектор «контроль до и в процессе эксплуатации» не указаны виды образцов по всем методам контроля;

- в этом же приложении не указано, что по радиационному контролю в секторе «контроль до и в процессе эксплуатации» дополнительно необходимо расшифровать 24 рентгеновских снимка и др.

На замечаниях к версии стандарта ДСТУ EN ISO:2014 можно было бы не останавливаться, но в ноябре этого года будет представлена новая версия документа, и хотелось бы, чтоб ее не постигла та же участь. Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики должно взять под свой контроль выпуск документов по неразрушающему контролю такого уровня.

1. *CET/TS 15053:2005 «Неразрушающий контроль – Рекомендации по типам несплошностей в экзаменационных образцах»*

2. *ISO/TR 25107:2005 «Неразрушающий контроль – Методические рекомендации по программе обучения»*

ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА В ІМПУЛЬСНОМУ ВИХРОСТРУМОВОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Ю.Ю. Лисенко, Ю.В. Куц, О.Л. Дугін

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна*

Вступ. Розширення області застосування вихрострумового неруйнівного контролю (ВСНК) у різних галузях науки і техніки обумовлене його високою ефективністю та надійністю. Традиційно ВСНК ґрунтується на збудженні вихрових струмів в об'єктів контролю (ОК) гармонічними сигналами певної частоти та аналізі інформативних параметрів (ІП) сигналу вихрострумового перетворювача (ВСП). При лінійній взаємодії з ОК електрофізичні характеристики матеріалів і геометричні параметри ОК визначаються через їх вплив на амплітуду і фазовий зсув сигналу ВСП [1]. Аналіз сигналів ВСП та інтерпретація результатів ускладнені необхідністю врахування впливу перешкоджаючих факторів. Найбільший негативний вплив мають проміжок між ВСП і ОК, варіація

електромагнітних властивостей матеріалу, кривизна і шорсткість поверхні ОК, зовнішні і апаратурні шуми [2]. З метою усунення впливу цих факторів вдосконалюють існуючі та розробляють нові конструкції ВСП [3], способи збудження вихрових струмів в ОК, розроблюють нові методи опрацювання інформаційних сигналів ВСП [2] тощо.

Актуальними напрямками дослідження ВСП є розробки анаксіальних конструкцій ВСП та перетворювачів подвійного диференціювання, які ще називають мультидиференціальними ВСП (multidifferential type eddy current probe) [3, 4, 5]. Анаксіальні ВСП характеризуються не співвісним розташуванням у просторі котушок (збуджуючої та вимірювальної). Подібні перетворювачі мають складнішу конструкцію і потребують кропіткого налаштування, проте дають змогу підвищити селективність ВСНК та мають високу чутливість у порівнянні з традиційними типами ВСП.

Інший напрям розвитку ВСНК пов'язаний з застосуванням інших режимів збудження вихрових струмів. Один з таких напрямів пов'язаний з застосуванням імпульсного збудження ВСП. Застосування в якості збуджуючого сигналу імпульсів струму різної тривалості дає можливість отримання інформації про відстань між перетворювачем і ОК (для імпульсів малої тривалості) та інформації про дефекти ОК (для імпульсів значної тривалості) [6]. Крім того комбіноване використання гармонічного й імпульсного режимів збудження електромагнітного поля для контролю стінок труби може бути застосоване для збільшення числа контрольованих характеристик ОК [7]. В цьому випадку в якості додаткових ІП використовуються загасання сигналу ВСП і зміна моменту перетину нульового рівня цим сигналом.

Імпульсний ВСНК також застосовують для виявлення дефектів в скріплювальних отворах в літакобудуванні [8]. Висновки про параметри ОК ґрунтуються на аналізі пікових значень амплітуди сигналу ВСП (аналіз сигналу в часовій області) та енергії спектру (аналіз в частотній області).

Сучасний ВСНК з імпульсним збудженням ґрунтується на вимірюванні амплітуди чи тривалості сигналу ВСП імпульсної форми, який виникає під час взаємодії нестационарного електромагнітного поля з ОК. Традиційно імпульсне збудження використовується з ВСП абсолютного типу [6, 7]. Удосконалення імпульсного ВСНК можливе в напрямках пошуку нових ІП сигналів ВСП та більш ефективних способів зменшення впливу різного роду завад, що діють в системі ВСП - ОК, реалізації багатопараметрового контролю, розширення функціональних можливостей ВСНК та підвищення вірогідності контролю [9, 10].

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження мультидиференціального ВСП в імпульсному та гармонічному режимах збудження, аналіз інформаційних сигналів згідно запропонованої методики оброблення і представлення інформації шляхом порівняння двох режимів збудження.

У доповіді розглянуті експериментальні результати контролю стандартних зразків ВСО-1 та ВСО-2 мультидиференціальним ВСП з імпульсним збудженням. Зразки мали вигляд пластин товщиною 5 мм, довжиною 100мм, шириною 30мм (рис. 1), ВСО-1 зі сталі марки Ст.20, а ВСО-2 з алюмінієвого сплаву Д16. На одній з поверхонь обох зразків з рівним інтервалом методом фрезерування нанесено три штучні дефекти, що імітують поверхневі тріщини, шириною 0.2 мм та глибиною $h=\{0.2, 0.5, 1.0\}$ мм. Шорсткість робочої поверхні не перевищувала 1,6 мкм.

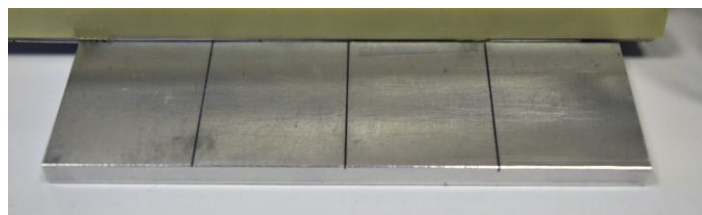


Рис. 1. Об'єкт дослідження

Поставлена задача вирішувалася шляхом експериментів, що базуються на:

- дослідженні роботи мультидиференціального накладного ВСП за умови імпульсного збудження та подальшим аналізом його сигналів у часовій області;
- виявленні і аналізі інформативних параметрів сигналів ВТП;
- визначенні функціональної залежності параметрів інформаційного сигналу ВСП від характеристик ОК.

Структура експериментального макету. На рис. 2 приведено структуру розробленої системи ВСНК, яка складається з накладного мультидиференціального ВСП (МдВСП), генератора (Г), цифрового осцилографа (ЦО), цифрового інтерфейсу (ЦІ), персонального комп'ютера (ПК) з оригінальним програмним забезпеченням (ПЗ). Аналіз отриманих сигналів проводився за допомогою розробленого ПЗ, в основу якого покладено алгоритм оброблення сигналів ВСП в часовій області з використанням перетворення Гільберта та отриманням і подальшим аналізом амплітудних та фазових характеристик сигналів [11, 12].

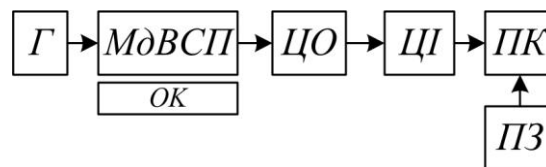


Рис. 2. Структура експериментального макету

На мультидиференціальний ВСП надходив збуджуючий імпульсний сигнал від генератора ($U=5V$, період повторювання $T=0.1ms$, тривалість $\tau=50\mu s$). Сигнал ВСП мав вигляд загасаючих гармонічних коливань (рис. 3).

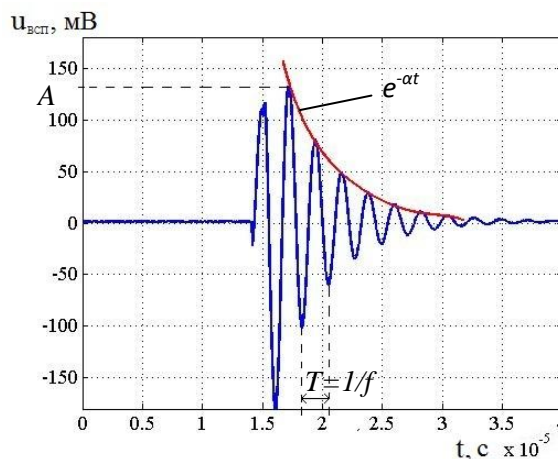


Рис. 3. Графік ділянки сигналу ВСП з імпульсним збудженням

Модель сигналу ВСП представлялася у вигляді адитивної суміші загасаючих гармонічних коливань та гауссового шуму:

$$u(t, h) = A_m(h) e^{-\alpha(h)t} \cos(2\pi f(h)t) + u_w(t), t \in (t_1, t_2) \quad (1)$$

де $A_m(h)$ – амплітудне значення інформаційної складової сигналу ВСП, $\alpha(h)$ – декремент сигналу, $f(h)$ – частота власних коливань сигналу, t – поточний час, (t_1, t_2) інтервал часу аналізу сигналу ВСП, $t \in (t_1, t_2)$, $u_w(t)$ – шумова складова сигналу, що розглядалась як реалізація гауссового випадкового процесу з нульовим математичним сподіванням та дисперсією σ^2 .

Методика опрацювання експериментальних даних. Порядок оброблення та аналізу характеристик інформаційних сигналів ВСП полягав у:

- дослідженні роботи мультидиференціального ВСП в умовах імпульсного збудження згідно запропонованої в [9, 11] методики;
- визначенні частоти власних коливань інформаційного сигналу ВСП за формулою:

$$f(h) = \Delta\Phi(h) / (2\pi\Delta T) \quad (2)$$

де $\Delta\Phi(h)$ – накопичена за час $\Delta T > T$, T – період сигналу ВСП, фаза сигналу ВСП;

- дослідженні роботи мультидиференціального ВСП в умовах неперервного збудження на частоті власних коливань;
- аналізі інформативних параметрів отриманих сигналів ВСП – залежності амплітуди $A(h)$ сигналів, загасання $\alpha(h)$ і частоти власних коливань $f(h)$ від h .
- оцінюванні чутливості ПІ сигналів ВСП до зміни h в ОК. Під чутливістю до ПІ розуміються $S_A = \partial A / \partial h$, $S_\alpha = \partial \alpha / \partial h$, $S_f = \partial f / \partial h$.

Така методика дозволяє виконати коректний співставний аналіз чутливостей мультидиференціального ВСП в різних режимах збудження до такого параметру ОК як глибина тріщини.

Результати та їх обговорення. Вихрострумний перетворювач встановлювався послідовно на ділянці ОК з певною тріщиною і отримувались сигнали ВСП виду (1). Дослідження проведені для двох режимів збудження – імпульсного та неперервного для зрізків ВСО-1 та ВСО-2. На етапі опрацювання сигналів ВСП для отриманих вибірок визначались залежності $A(h)$, $\alpha(h)$ та $f(h)$.

Експериментальні значення $A(h)$ для сигналу мультидиференціального ВСП в умовах імпульсного та неперервного збудження для вказаних вище зразків представлені на рис. 4 та рис. 5. Криві 1 та 2 на рис. 4 та рис. 5 відповідають залежності $A(h)$ для зразка ВСО-1 на частотах 667 кГц та 434 кГц, відповідно; криві 3 та 4 – залежності $A(h)$ для зразка ВСО-2 на частотах 787 кГц та 507 кГц, відповідно. З аналізу цих графіків видно, що збільшення глибини тріщини в ОК призводить до збільшення значень амплітуди напруги ВСП. Чутливість амплітуди сигналу перетворювача до глибини тріщини в ОК приведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Чутливість до глибини тріщини, В/м

Збудження	Зразок 1		Зразок 2	
	667 кГц	434 кГц	787 кГц	507 кГц
імпульсне	29,8	62,3	14,5	20,4
гармонічне	132	145	62	91

З графіків рис. 4 та рис. 5 видно, що залежність зміни амплітуди сигналу ВСП подібна до лінійної, проте чутливість за неперервного збудження ВСП є більшою.

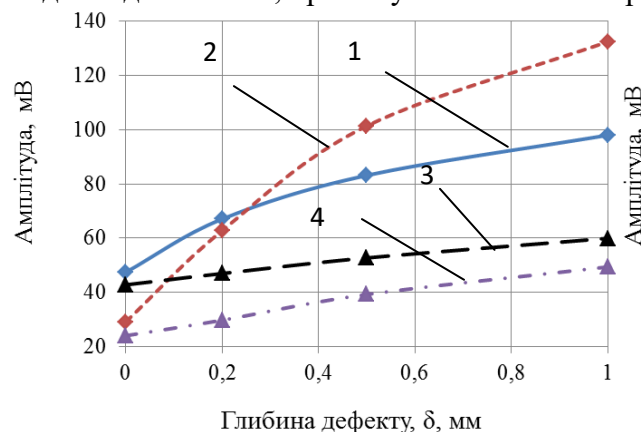


Рис. 4. Залежність $A(h)$ за імпульсного збудження ВСП

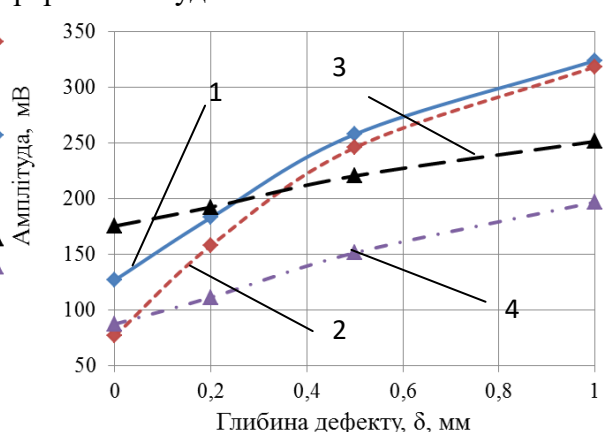


Рис. 5. Залежність $A(h)$ за імпульсного збудження ВСП

На рисунку 6 приведені результати аналізу загасання сигналу ВСП при його імпульсному збудженні для двох зразків на різних частотах: рис. 6а та рис. 6б для ВСО-1, рис. 6в та рис. 6г для ВСО-2. З графіків видно, що збільшення частоти власних коливань сигналу ВСП дає змогу підвищити чутливість до глибини тріщини, а саме – для зразка ВСО-1 чутливість $S_a(f=667\text{кГц})=34\cdot 10^3\text{ с}^{-1}\text{мм}^{-1}$ та $S_a(f=434\text{кГц})=7\cdot 10^3\text{ с}^{-1}\text{мм}^{-1}$. Крім того співставний аналіз цих графіків показує, що для ОК з різних матеріалів спостерігається різна залежність загасання від глибини тріщини, що може бути використано для оцінювання фізико-механічних параметрів матеріалу ОК.

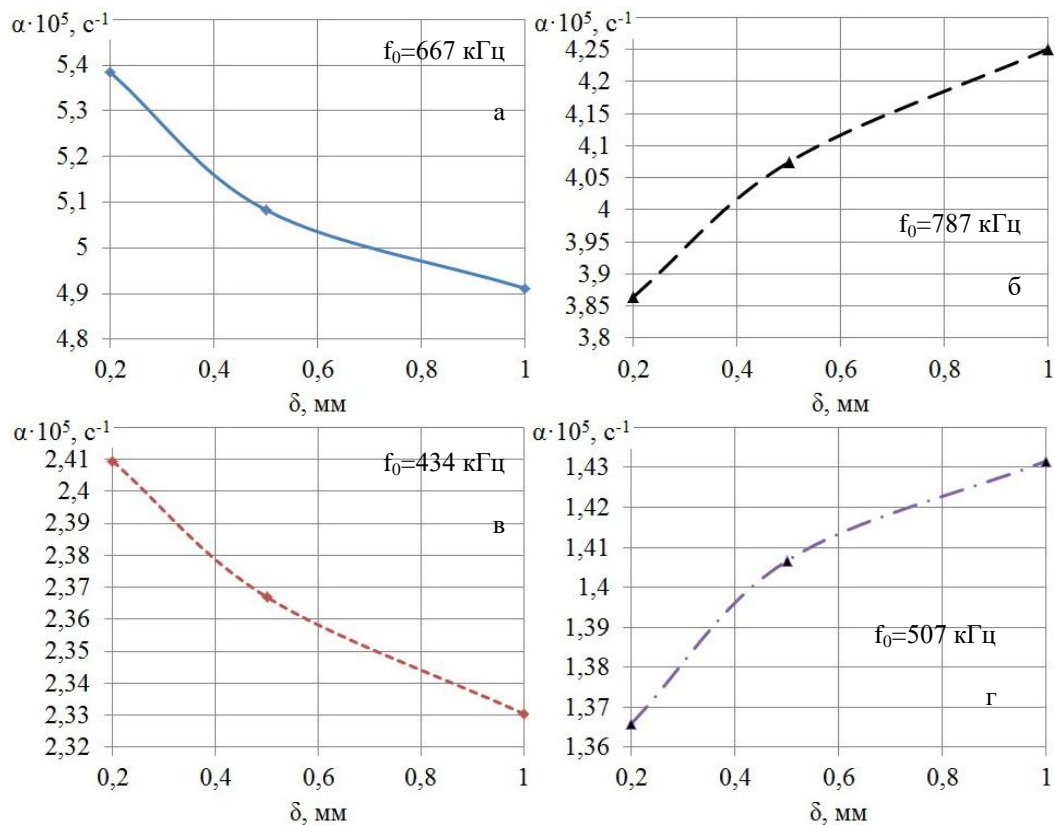


Рис. 6. Залежність $\alpha(h)$ за імпульсного збудження ВСП

Результати визначення зміни частоти власних коливань сигналу ВСП з імпульсним збудженням як функції від глибини тріщини в ОК приведені на рис. 7. Зразку ВСО-1 відповідають графіки залежності $f(h)$ у випадку, коли початкова частота власних коливань сигналу ВСП дорівнює 667 кГц та 434 кГц на рис. 7а та рис. 7в, відповідно. Зразку ВСО-2 – рис. 7б при частоті 787 кГц та рис. 7г при 507кГц. З аналізу цих графіків видно, що залежність $f(h)$ наближена до лінійної та має тенденцію до зменшення в результаті збільшення глибини тріщини h . В цьому випадку чутливість до глибини тріщини h покращується зі збільшенням частоти сигналу ВСП: для зразка ВСО-2 чутливість $S_f(f=787\text{кГц})=83,6\text{ Гц/мм}$ та $S_f(f=507\text{кГц})=28,8\text{ Гц/мм}$.

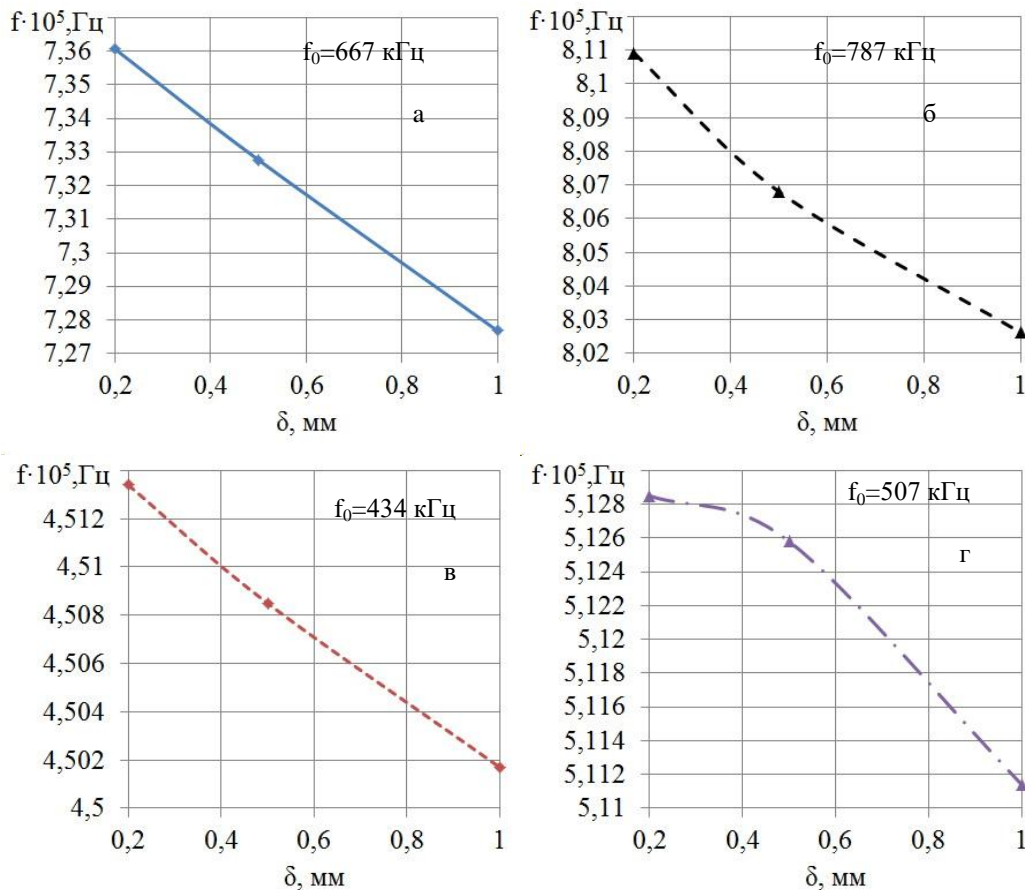


Рис. 7. Залежність $f(h)$ за імпульсного збудження ВСП

Висновки. Порівняння імпульсного та гармонічного режимів збудження ВСП шляхом оцінювання зміни амплітудних значень сигналів ВСП від глибини тріщини в ОК показало, що чутливість за неперервного збудження ВСП є кращою. Проте, використання залежності амплітуди сигналів ВСП з імпульсним збудженням від глибини тріщини в ОК дозволяє в деяких випадках розширити функціональні можливості дефектоскопії. Крім того, спостерігається збільшення чутливості таких інформативних параметрів ВСП, як загасання та частота власних коливань сигналу перетворювача до глибини тріщини ОК із збільшенням початкової частоти сигналу ВСП.

Залежність загасання та частоти власних коливань сигналу ВСП в імпульсному режимі збудження від матеріалу ОК та глибини тріщини в ньому може бути використана для оцінювання фізико-механічних параметрів матеріалу ОК.

Таким чином, ВСНК з імпульсним збудженням в поєднанні з цифровою обробкою інформаційних сигналів може істотно доповнити відомі методи за рахунок можливості аналізу таких параметрів сигналів як частота власних коливань, пікове значення амплітуди, декремент сигналу.

1. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник в 2 т. / В.В. Ключев. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2: Вихретоковый контроль. – 688с.
2. Тетерко А.Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А.Я. Тетерко, З.Т. Назарчук; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. - Л., 2004. - 247 с.
3. Учанін В.М. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання: [монографія] / В.М. Учанін; НАН України, Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка. - Львів: Сполом, 2013. - 268.

4. Theodoulidis T., Ditchburn R.J. *Mutual Impedance of Cylindrical Coils at an Arbitrary Position and Orientation Above a Planar Conductor* // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 2007. – 43, № 8. – P. 3368-3370.
5. *Eddy Currents Versus Magnetic Particles* / G. Lutenko, V. Uchanin, V. Mishchenko, A. Opanasenko // *Proc. 18th World Conference on Nondestructive Testing*. - Durban (South Africa), 2012. – P.199.
6. *Методы неразрушающих испытаний*. / Под ред. Р. Шагна. М.: Мир, 1972. - 496с.
7. Vasic D. *Pulsed Eddy-Current Nondestructive Testing of Ferromagnetic Tubes* / D. Vasic, V. Bilas, D. Ambrus // *IEEE Trans. Instrum. Meas.* – 2004. – vol. 53, no. 4. – pp. 1289-1294.
8. Yang G. *Pulsed Eddy-Current Based Giant Magnetoresistive System for the Inspection of Aircraft Structures* / G. Yang, A. Tamburrino, L. Udpa, S. Udpa // *IEEE Trans. Magn.* – 2010. – vol. 46, no. 3. – pp. 910-917.
9. Lysenko I. *Improvement of the Eddy Current Method of Non-Destructive Testing with Pulsed Mode Excitation [Electronic resource]* / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // *The e-Journal of Nondestructive Testing*. – 2016. – № 7, Vol. 21. – Access mode: <http://www.ndt.net>.
10. Lysenko Y. *Analysis of an Eddy-Current Transducer with Impulsive Excitation in the Nondestructive Testing of Cylindrical Objects* / Y. Kuts, Y. Lysenko, A. Dugin, A. Zakrevskii // *Materials Science*. – 2016. – vol. 52, no. 3. - pp 431–437.
11. Лысенко Ю. Ю. *Методика обработки сигналов в системах импульсной вихретоковой дефектоскопии* / Лысенко Ю. Ю., Куц Ю.В., Дугин А.Л. // 8-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение-2015» (25-27 ноября 2015г. г. Минск, Республика Беларусь). *Материалы конференции* / БНТУ. – Минск, 2015. – Т. 1, С. 244-246.
12. Babak V., Kuts U. *Discret Hilbert Transform in Problems of the Measuring System Signal Analysis* //: *Proceedings of Int. Conf. Sensors and Systems – St.Petersburg*, 2002. – V. III. – pp.32-36.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ВПЛИВУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА ДЕГРАДАЦІЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

В. Д. Миндюк, Н. І. Чабан

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна*

Об’єктивна оцінка технічного стану насосно-компресорних труб (далі – НКТ) на різних стадіях їх експлуатації є неодмінною умовою прогнозування ресурсу для забезпечення оптимального управління надійністю і промисловою безпекою видобувних процесів. Існуюча номенклатура методів оцінки фактичного технічного стану НКТ спрямована на ефективне виявлення та відбракування дефектів методом кількісного порівняння вимірених параметрів з нормативними, але не включає заходів проміжного контролю властивостей і структури металу НКТ при тривалому контакті їх з робочим, часто дуже агресивним корозійної середовищем. Відсутність проміжного контролю фактичного стану не дозволяє оцінювати запас надійності пошкоджених корозією труб, можливість їх подальшої експлуатації і ймовірний залишковий ресурс в залежності від корозійної активності свердловинних середовищ [1].